МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 631.22 DOI 10.12737/18275

Исследование параметров магнитного поля в рабочей камере индуктора*

Н. В. Лимаренко[1], В. П. Жаров[2], Ю. В, Панов[3], Б. Г. Шаповал[4]**

[1,2,3,4] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Study on magnetic field parameters in the inductor working chamber ***

N. V. Limarenko[1], V. P. Zharov[2], U. V. Panov[3], B. G. Shapoval[4]**

[1,2,3,4] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Рассмотрен индуктор, позволяющий использовать магнитное поле в технологических процессах сельского хозяйства. Исследованы интенсивность, направленность и однородность магнитного поля в рабочей камере индуктора. Использовались методы инструментального, прямого и косвенного измерения, статистической обработки данных, методы аналого-цифрового преобразования данных. Представлена методика измерения векторной характеристики электромагнитного поля – магнитной индукции, оценивающей качество протекания технологического процесса в рабочей камере индуктора. Разработана кибернетическая модель экспериментального исследования, по оценке качества функционирования индуктора. Определены распределения радиальной и осевой составляющих магнитной индукции в рабочей камере, выявлен участок с наиболее однородной величиной и направлением вектора магнитной индукции, образующий рабочую зону индуктора. Выявлена наиболее значимая составляющая вектора магнитной индукции для данного технологического процесса и типа индуктора. Полученные результаты важны при проектировании новых конструкций индукторов.

Ключевые слова: индуктор; рабочая камера индуктора; магнитная индукция; интенсивность; направленность.

The inductor which allows the usage of the magnetic field in the agriculture technological processes is considered. The measuring technique of the electromagnetic field vector characterization – magnetic induction that evaluates the quality of the technological process in the inductor chamber – is offered. Intensity, directivity, and uniformity of the magnetic field in the inductor working chamber are investigated. The techniques of the instrumental, direct and indirect measurements, and statistical data processing, as well as methods of analog-to-digital data conversion are used. A cybernetic model of the experimental research to assess the inductor performance quality is developed. The distribution of the radial and axial components of the magnetic induction in the working chamber is determined; the area with the most uniform magnitude and the magnetic-field direction which forms the inductor working area is identified. The most significant component of the magnetic induction vector for this process and the type of inductor is revealed. The results obtained are important for the development of new inductor constructions.

Keywords: inductor, inductor working chamber, magnetic induction, intensity, directivity.

Введение. В сельском хозяйстве множество технологических процессов включают операцию обеззараживания. Такие процессы связаны, главным образом, с обеззараживанием сточных вод, сельскохозяйственных отходов и типичны для животноводства, птицеводства и рыбоводства.

Поскольку результаты технологических процессов, включающих операцию обеззараживания, определяются характером электромагнитного поля, создаваемого индуктором, то исследование соответствующих свойств индуктора крайне актуально.

Несмотря на определённые успехи в исследовании вопроса применения эффектов электромагнетизма в сельском хозяйстве (Логвиненко Д. Д. [1], Вершинин Н. П. [2] и их последователи), завершённой теории индукторов до настоящего времени нет. Известно, что характеристики магнитного поля (МП) определяются свойствами индуктора и оказывают большое влияние на качество и длительность протекающего в нём технологического процесса [3, 4, 5]. Однако вопрос исследования свойств рабочей камеры индуктора, позволяющий выделить зону наиболее активного воз-

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

** E-mail: nikolajj-limarenko@rambler.ru, zharovvp@mail.ru, nba-shapoval@yandex.ru, u-panov@yandex.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.

действия МП на технологический материал, до настоящего времени изучен недостаточно. Также неизвестны математические модели, позволяющие адекватно определить параметры МП в рабочей камере.

Поэтому экспериментальное исследование параметров МП в рабочей камере индуктора является актуальным вопросом, решение которого и составляет цель данной работы.

Экспериментальные исследования. Рассмотрен индуктор конструкции Вершинина Н. П. [6], схема которого представлена на рис. 1.

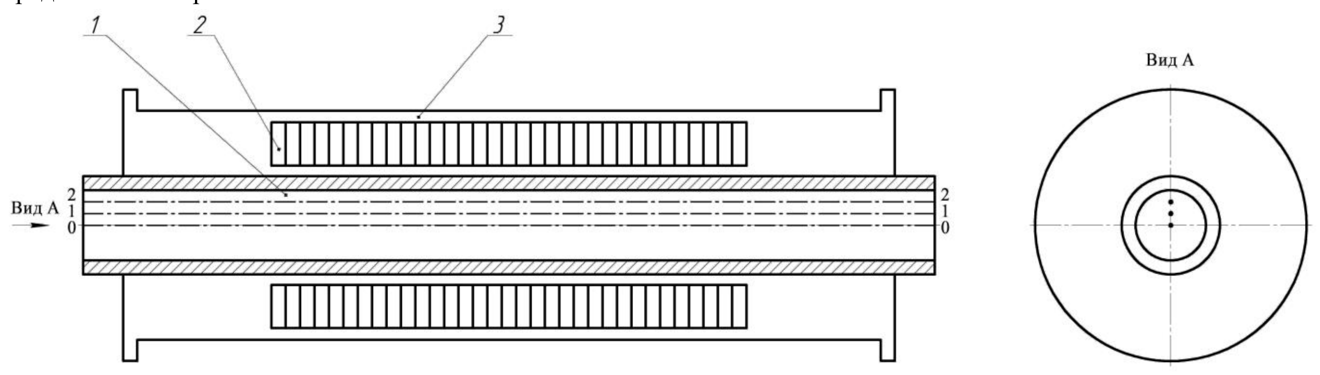


Рис. 1. Схема индуктора:
1 — рабочая камера; 2 — обмотки; 3 — корпус

Индуктор представляет собой статор, генерирующий вращающееся переменное электромагнитное поле. Состоит он из корпуса 3, внутри которого расположен цилиндрический сердечник 2 из ферромагнитного материала с электрообмотками, смещёнными друг относительно друга на угол 120° в пространстве, в отверстии которого вставлена труба 1 из парамагнитного материала.

МП определяется его интенсивностью, направленностью и однородностью. Для характеристики интенсивности воздействия магнитного поля используются следующие физические величины: магнитный поток, напряжённость, магнитная индукция.

Наиболее информативной характеристикой МП является магнитная индукция (МИ) — векторная величина $\vec{B}$ в Тл, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля в точке.

Представительно определяется средневыпрямленное значение МИ, которое позволяет минимизировать систематическую погрешность, поскольку исследуемое устройство работает с синусоидальным напряжением. Соответственно, в качестве параметров, характеризующих МП в рабочей камере индуктора, принимаются средневыпрямленные значения радиальной B_m^p и осевой B_m^o составляющих МИ.

Анализ литературных источников [1–9] и результаты предварительных исследований свидетельствуют, что величина МИ в рабочей камере индуктора зависит от:

— координаты точки измерения МИ;

— уровня активной мощности в электрической цепи индуктора (далее активная мощность);

В данном исследовании индуктор питается трёхфазным током промышленной частоты.

Кибернетическая модель системы, отображающая связи объекта исследования с параметрами, факторами и условиями, представлена на рис. 2.

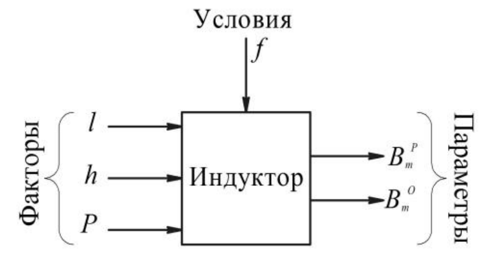


Рис. 2. Блок-схема кибернетической модели системы. Варьируемые факторы:
l — расстояние от края индуктора, см; h — расстояние от центральной продольной оси индуктора, см; P — активная мощность, кВт. Условия: f — частота колебаний электрического тока, Гц. Параметры: B_m^P и B_m^O — средневыпрямленные значения радиальной и осевой составляющих МИ

Измерение значений МИ производилось портативным универсальным миллитесламетром ТПУ с датчиками Холла. Относительная погрешность измерений не превышала 3%.

Измерение МИ производилось по следующей методике. В рабочей камере индуктора в необходимом месте вдоль продольной оси измерения МИ закреплялась направляющая в виде трубы с высокой магнитной проницаемостью, что обеспечивало фиксированное перемещение датчика вдоль продольной оси.

Точка измерения МИ размещалась на трёх различных расстояниях от центральной продольной оси индуктора и перемещалась вдоль неё в пределах рабочей камеры.

Конструктивное исполнение индуктора позволяет устанавливать три уровня активной мощности.

За счёт нестабильности напряжения электрического тока в подводящей сети происходило некоторое изменение уровня активной мощности, которое не превышало 2%. Такая случайная погрешность устранялась серией опытов.

Для определения активной мощности фиксировались текущие значения фазового напряжения и силы тока в электрической цепи индуктора, а также косинус угла сдвига фаз напряжения и тока — cos φ.

Измерение значений контролируемых параметров и их первичная обработка осуществлялись с использованием контрольно-измерительного комплекса (КИК), созданного авторами, и представленного на рис. 3. Все средства измерения, использованные в процессе исследования, сертифицированы и поверены.

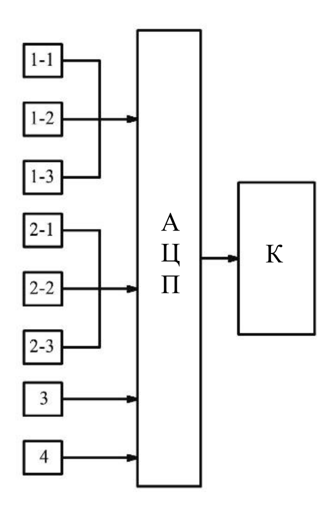


Рис.3. Блок-схема КИК: 1–1; 1–2; 1–3 — датчики измерения фазового напряжения электрического тока на входе индуктора $U_Ф$ в B; 2–1; 2–2; 2–3 — датчики измерения фазовой силы электрического тока на входе индуктора $I_Ф$ в А; 3 — датчик измерения частоты колебания электрического тока f в Гц; 4 — датчик измерения магнитной индукции B_m в мТл; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; К — компьютер

План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1

План эксперимента

№ опыта	Значения активной мощности, кВт	Ось измерения	Составляющая МИ
1	5	0-0	Радиальная
2	5	0-0	Осевая
3	5	1-1	Радиальная
4	5	1-1	Осевая
5	5	2-2	Радиальная
6	5	2-2	Осевая
7	3	0-0	Радиальная
8	3	0-0	Осевая
9	3	1-1	Радиальная
10	3	1-1	Осевая
11	3	2-2	Радиальная
12	3	2-2	Осевая
13	2	0-0	Радиальная

14	2	0-0	Осевая
15	2	1-1	Радиальная
16	2	1-1	Осевая
17	2	2-2	Радиальная
18	2	2-2	Осевая

Для уменьшения систематических ошибок применялась рандомизация. Каждый опыт дублировался три раза. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась в автоматизированном режиме с использованием программных комплексов Statistica 6.0.

Обсуждения и результаты. Анализ результатов опытов, частично представленных на рис. 4, позволил установить:

— значения радиальной и осевой составляющих МИ в рабочей камере индуктора не являются постоянными величинами;

— радиальная составляющая МИ на участке 0–25 равна, или приблизительно равна, нулю. На участке 25–40 резко возрастает до максимума. На участке 40–90 остаётся постоянной. На участке 90–115 резко убывает, а на участке 115–130 равна, или приблизительно равна, нулю;

— максимальные значения МИ на участке 40–90 обусловлены конструктивной особенностью индуктора, а именно — наличием на этом участке ферромагнитного сердечника. Анализ вышеизложенных фактов позволил выделить зону наиболее активного воздействия магнитного поля, которая может быть принята за рабочую зону индуктора;

— возрастание и убывание значений МИ на участках 25–40 и 90–115 обусловлено краевыми эффектами, возникающими на концах сердечника;

—значения осевой составляющей МИ изменяется, примерно, аналогично изменениям радиальной составляющей МИ.

— средние значения радиальной составляющей на участке 40–90 равны 61,6 мТл, а осевой — 3,9 мТл, что составляет всего 6,3 % от значения радиальной составляющей.

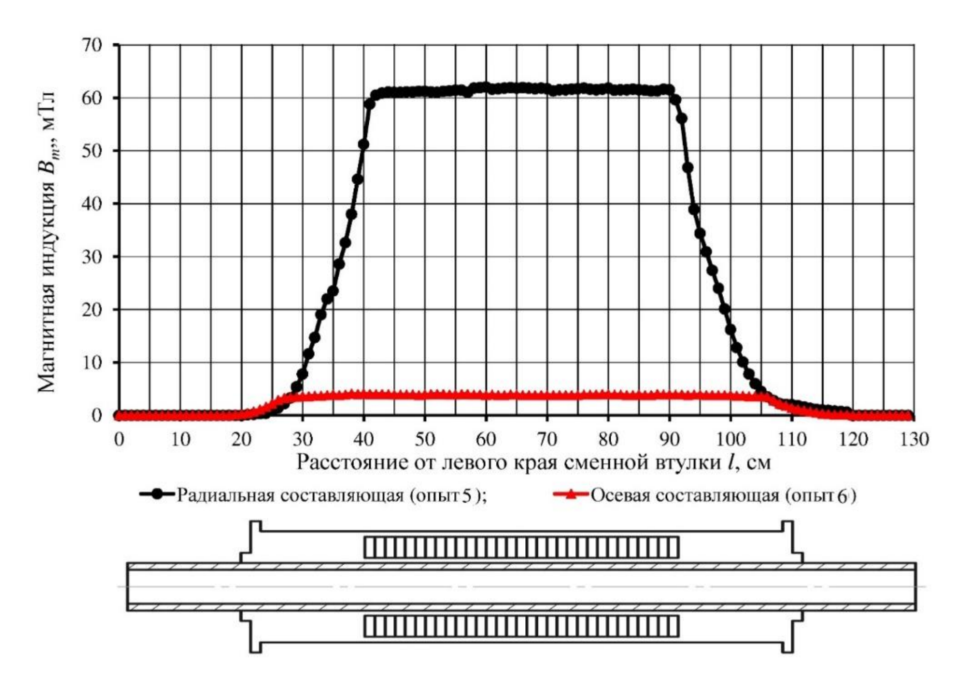


Рис. 4. Результаты опытов

Анализ результатов опытов, частично представленных на рис. 5, позволил установить, что удаление координаты измерения относительно центральной продольной оси индуктора (рис.1) не оказывает существенного влияния на значения МИ.

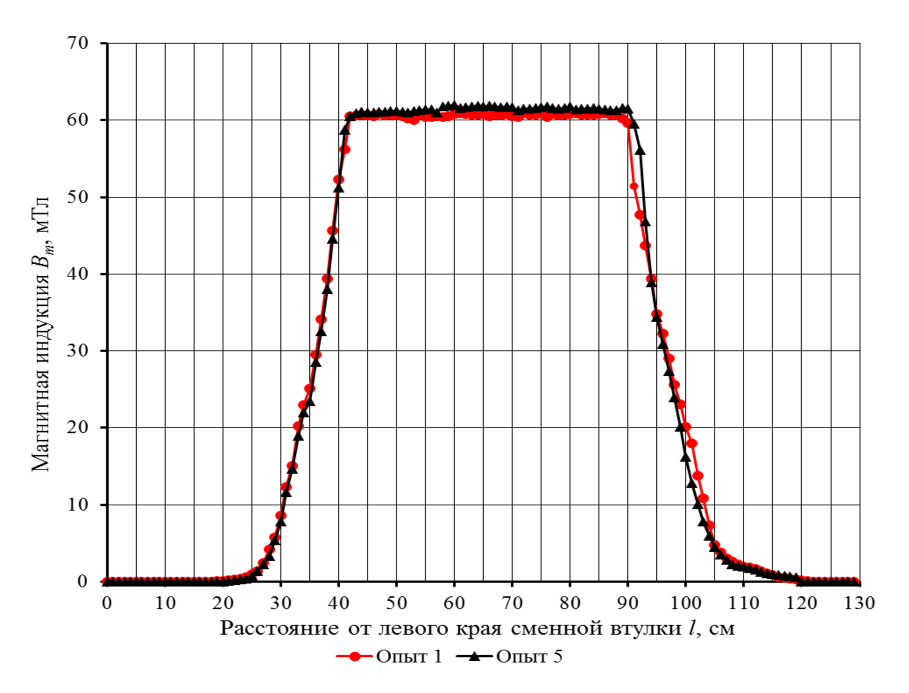


Рис. 5. Результаты опытов

Проверка полученных значений оценок дисперсий МИ на участке 40–90 для всех опытов на однородность по критерию Кохрена показала, что при выбранном уровне значимости α = 0,05 расчетное значение G_p меньше критического значения $G_к$ [10], следовательно, гипотеза об однородности МП в рабочей зоне индуктора справедлива.

Анализ результатов опытов, частично представленных на рис.6, позволил установить, что с увеличением уровня активной мощности значения МИ в рабочей камере возрастают до магнитного насыщения материала сердечника.

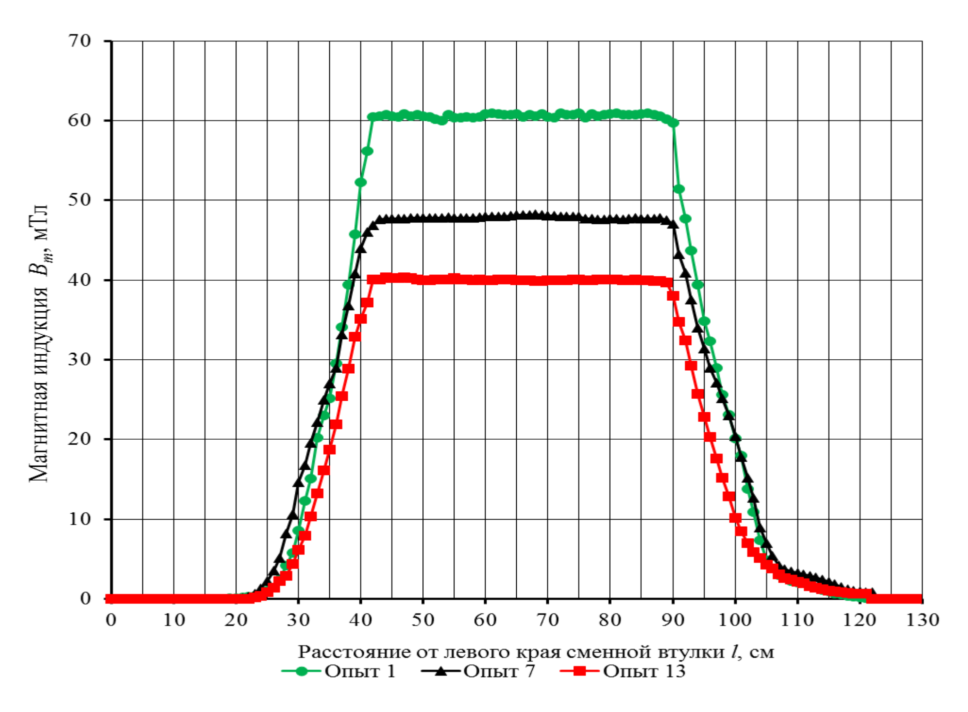


Рис. 6. Результаты опытов

Выводы.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие заключения:

— магнитная индукция в рабочей зоне (на участке индуктора 40–90) однородна;

— значения радиальной составляющей МИ значительно превосходят значения осевой составляющей.

Проведенное исследование позволило оценить влияние собственных свойств индуктора на интенсивность МП и перейти к дальнейшим исследованиям влияния МП на технологический материал. Полученные результаты важны как при проектировании новых индукторов, так и для повышения эффективности уже эксплуатируемых устройств.

Библиографический список

1. Логвиненко, Д. Д. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем / Д. Д. Логвиненко, О. П. Шеляков // Техника : Киев, 1976. — 144 с.

2. Вершинин, И. Н. Аппараты с вращающимся электромагнитным полем / И. Н. Вершинин, Н. П. Вершинин // Сальск, 2007. — 368 с.

3. Володин, Г. И. Электромеханические процессы в устройствах с произвольной подвижной частью : дисс. докт. тех. наук : 05.09.01 / Юж.-Рос. Гос. техн. ун-т (НПИ), Новочеркасск, 2009. — 304 с.

4. Деревянкин, Н. А. Аппараты с вихревым слоем в химической технологии. Обзорная информация. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение / Н. А. Деревянкин, З. А. Михалёва // Тамбов, 1989. — 37 с.

5. Климов, Е. А. Оценка влияния составляющих нулевой последовательности на эффективность работы электромеханического активатора (Аппарата с вихревым слоем) / Е. А. Климов, В. В. Колосков, В. Е. Сапрыкин // Известия ВУЗов. Электромеханика. — 2012. — №1. — с. 67–71.

6. Вершинин, Н. П. Установки активации процессов. Использование в промышленности и в сельском хозяйстве. Экология. / Н. П. Вершинин // Ростов-на-Дону, 2004. — 314 с.

7. Zheng, C. Fresh water disinfection by pulsed low electric field / C Zheng, Y Xu, Z Liu and K Yan // Journal of Physics: Conference Series. — 2014. Vol. 594. 142–148 p.

8. M. Fernanda San Martin. Inactivation effect of an 18-T pulsed magnetic field combined with other technologies on Escherichia coli / M. Fernanda San Martin, Federico M. Harte, Huub Levieveld, Gustavo V. Barbosa- Cánovas, Barry G. // Innovative Food Science & Emerging Technologies, — 2001. — Vol. 2. — Iss. 4. — Pp. 273–277.

9. Адошев, А. И. Ферровихревой аппарат для обработки жидкого навоза / А. И. Адошев // Сельский механизатор. — 2007. — №6 — С. 32–33.

10. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : уч. для вузов / Е. С. Вентцель. — Москва : Наука, 1969. — 576 с.

References

1. Logvinenko, D.D., Shelyakov, O.P. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov v apparatakh s vikhrevym sloem. [Intensification of technological processes in units with velocity layer.] Kiev: Tekhnika, 1976, 144 p. (in Russian).

2. Vershinin, I.N., Vershinin, N.P. Apparaty s vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem. [Devices with a rotating electromagnetic field.] Salsk, 2007, 368 p. (in Russian).

3. Volodin, G.I. Elektromekhanicheskie protsessy v ustroystvakh s proizvol'noy podvizhnoy chast'yu: diss. dokt. tekh. nauk. [Electromechanical processes in units with an arbitrary movable element: Dr.Sci. (Eng.) diss.] South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, 2009, 304 p. (in Russian).

4. Derevyankin, N.A., Mikhaleva, Z.A. Apparaty s vikhrevym sloem v khimicheskoy tekhnologii. Obzornaya informatsiya. Khimicheskoe i neftepererabatyvayushchee mashinostroenie. [Vortex layer devices in chemical engineering. Survey information. Chemical and oil-refining engineering.] Tambov, 1989, 37 p. (in Russian).

5. Klimov, E.A., Koloskov, V.V., Saprykin, V.E. Otsenka vliyaniya sostavlyayushchikh nulevoy posledovatel'nosti na effektivnost' raboty elektromekhanicheskogo aktivatora (Apparata s vikhrevym sloem). [Assessment of the null component impact on the electromechanical activator efficiency (Vortex layer device).] Izvestia vuzov. Electromechanics, 2012, no. 1, pp. 67–71 (in Russian).

6. Vershinin, N.P. Ustanovki aktivatsii protsessov. Ispol'zovanie v promyshlennosti i v sel'skom khozyaystve. Ekologiya. [Units for process activation. Utilization in industry and agriculture. Ecology.] Rostov-on-Don, 2004, 314 p. (in Russian).

7. C Zheng, Y Xu, Z Liu and K Yan. Fresh water disinfection by pulsed low electric field. Journal of Physics: Conference Series. 2014, vol. 594, pp. 142–148.

8. M. Fernanda San Martin, Federico M. Harte, Huub Levieveld, Gustavo V. Barbosa- Cánovas, Barry G. Swanson. Inactivation effect of an 18-T pulsed magnetic field combined with other technologies on Escherichia coli. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, vol. 2, iss. 4, pp. 273–277.

9. Adoshev, A.I. Ferrovikhrevoy apparat dlya obrabotki zhidkogo navoza. [Ferro-vortex unit for black liquid processing.] Selskiy Mechanizator, 2007, no. 6, pp. 32–33 (in Russian).

10. Ventsel, E.S. Teoriya veroyatnostey: uchebnik dlya vuzov. [Probability theory: college textbook.] Moscow: Nauka, 1969, 576 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 24.03.2015
Сдана в редакцию 24.03.2015
Запланирована в номер 22.01.2016